

文章编号:1007-6492(2002) 01-0031-03

# 钢纤维混凝土轴拉初裂强度的计算方法

高丹盈, 徐 磊, 李趁趁

( 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 钢纤维混凝土轴拉初强度是确定钢纤维混凝土抗裂度的重要指标,也是间接衡量钢纤维混凝土其它力学性能的指标.通过对钢纤维混凝土轴拉试验结果的分析,研究了钢纤维外形和体积率、混凝土强度等级对钢纤维混凝土轴拉初裂强度的影响.结果表明:混凝土轴拉初裂强度分别随钢纤维体积率的增大和混凝土强度等级的提高而增大.最后,建立了钢纤维混凝土轴拉初裂强度的计算模型,提出了钢纤维混凝土轴拉初裂强度的计算公式,供修订我国的《钢纤维混凝土设计与施工规程》以及工程设计与施工参考.

**关键词:** 钢纤维混凝土;轴拉初裂强度;计算方法

**中图分类号:** TU528.58 **文献标识码:** A

钢纤维混凝土轴拉初裂强度是确定钢纤维混凝土抗裂度的重要指标,也是间接衡量钢纤维混凝土其它力学性能,诸如钢纤维混凝土初裂抗剪强度、冲切强度、钢纤维混凝土与钢筋粘结强度的指标.到目前为止,国内外已对钢纤维混凝土的弯曲性能进行了大量的试验研究,有关钢纤维混凝土抗折强度的计算方法比较成熟,其计算公式已列入我国的《钢纤维混凝土设计与施工规程》(CECS 13:89).但是,钢纤维混凝土轴拉初裂强度的计算方法还较少,相应的计算公式也未列入规程.我们曾对圆直纤维和熔抽纤维混凝土的初裂抗弯强度进行过较系统的研究<sup>[1]</sup>,提出了具体的计算方法.本文在文献<sup>[2]</sup>计算方法的基础上,结合文献<sup>[3]</sup>有关方直形和端钩形钢板剪切钢纤维混凝土轴拉初裂强度的试验结果,进一步研究钢纤维混凝土轴拉初裂强度的计算方法,提出相应的计算公式,供修订我国的《钢纤维混凝土设计与施工规程》以及工程设计与施工参考.

## 1 钢纤维混凝土轴拉初裂强度影响因素

影响钢纤维混凝土轴拉初裂强度的因素很多,其中最主要的是钢纤维、混凝土基体及其二者的相对体积含量,见表 1 的试验结果<sup>[3]</sup>.

### 1.1 钢纤维体积率

当混凝土基体等级为 C 40, 钢纤维体积率由

表 1 钢纤维和混凝土强度等级对钢纤维混凝土轴拉初裂强度的影响

纤维 混凝土强 外形 度等级		$\rho_f / \%$	$l_f / d_f$	初裂应变/ ( $\times 10^{-6}$ )	初裂强度/MPa	
					试验值	计算值
方直形 钢板切 削纤维	C 40	0	0	22.05	1.65	—
		0.5	55	24.50	1.95	2.134
		1.0	55	34.80	2.33	2.618
		1.5	55	46.20	2.85	3.103
		2.0	55	53.90	3.52	3.587
	C 50	0	0	20.05	1.71	—
		0.5	55	25.60	2.20	2.212
		1.0	55	39.47	2.73	2.714
		1.5	55	51.20	3.42	3.215
		2.0	55	60.52	4.02	3.717
端钩形 钢板切 削纤维	C 40	0	0	22.05	1.65	—
		0.5	55	28.17	2.25	2.269
		1.0	55	39.30	2.59	2.887
		1.5	55	53.22	3.31	3.505
		2.0	55	61.93	4.15	4.124
	C 50	0	0	20.05	1.71	—
		0.5	55	29.31	2.31	2.351
		1.0	55	45.39	2.95	2.991
		1.5	55	58.82	3.68	3.633
		2.0	55	69.47	4.55	4.274

0%增加到 2%, 方直形钢纤维和端钩形钢纤维混凝

收稿日期:2001-09-02;修订日期:2001-10-15

基金项目:1999 年度河南省杰出青年基金资助项目

作者简介:高丹盈(1962-),男,河南省三门峡市人,郑州大学教授,博士,主要从事新型建筑复合材料及其结构性能方面的研究

土的轴拉初裂强度分别提高了 113%, 151%, 轴拉应变分别提高了 143%, 178%. 当混凝土基体等级为 C50, 钢纤维体积率由 0% 增加到 2%, 方直形钢纤维和端钩形钢纤维混凝土的轴拉初裂强度分别提高了 135%, 166%, 轴拉应变分别提高了 196%, 240%, 如图 1 所示. 试验表明, 混凝土的轴拉初裂强度随钢纤维体积率的增加而增大, 并且端钩形钢纤维对混凝土轴拉初裂强度的增强效果比方直形钢纤维更好些.

1.2 混凝土强度等级

混凝土基体的等级由 C40 增加到 C50, 基体强度提高了 3.6%. 但是, 当钢纤维体积率为 1%, 对于方直形钢纤维和端钩形钢纤维混凝土, 混凝土基体的等级由 C40 增加到 C50, 钢纤维混凝土的轴拉初裂强度分别提高了 17.2%, 13.9%, 轴拉应变分别提高了 12.4%, 11.4%. 当钢纤维体积率为 2%, 对于方直形钢纤维和端钩形钢纤维混凝土, 混凝土基体的等级由 C40 增加到 C50, 钢纤维混凝土的轴拉初裂强度分别提高了 14%, 9.6%, 轴拉应变分别提高了 17.4%, 17.7%, 如图 2 所示. 试验结果表明, 钢纤维增强作用的发挥是与基体混凝土强度有关的.

2 钢纤维混凝土轴拉初裂强度计算模式

钢纤维混凝土增强机理的研究主要有两种理论: 复合力学理论和纤维间距理论. 复合力学理论将钢纤维增强混凝土看作是一种纤维强化体系, 应用混合原理推导钢纤维混凝土的应力、弹性模量和强度等, 并引入纤维方向系数(  $\eta_0$  ) 和纤维长度系数(  $\eta_l$  ), 考虑在拉伸应力方向上有效纤维体积率的比例和非连续性短纤维应力沿纤维长度的非均匀分布. 在混凝土基体开裂前的近似弹性变

形范围内, 钢纤维混凝土的应力为

$$\sigma = \sigma_m \rho_m + \eta_l \eta_g g. \tag{1}$$

式中:  $\sigma$  为钢纤维混凝土的应力;  $\sigma_m$  为混凝土的应力;  $g$  为钢纤维的应力;  $\rho_m$  为混凝土的体积率;  $g$  为钢纤维的体积率  $g + \rho_m = 1$ .

混凝土应变达到其开裂应变  $\epsilon_u$  时, 混凝土开始出现可见微裂缝, 其应力达到混凝土抗拉强度  $f_t$ , 对应的钢纤维应力为  $\eta_l \eta_g \epsilon_u$ , 钢纤维与混凝土之间发生相对滑移, 钢纤维开始拔出. 由式(1) 得钢纤维混凝土的开裂荷载  $f_{cr}$  为

$$f_{cr} = f_t \rho_m + \eta_l \eta_g E \epsilon_u g; \tag{2}$$

此时, 若假定钢纤维与混凝土的平均粘结力为  $\tau$ , 即  $\eta = 1$ , 则钢纤维的应力为<sup>[3]</sup>

$$g = \eta_l \tau_f / d_f. \tag{3}$$

式中:  $l_f$  为钢纤维的长度;  $d_f$  为钢纤维的直径.

将  $\eta = 1$ ,  $\sigma_m = f_t$  以及式(3) 代入式(1), 得到按照复合力学理论求出的钢纤维混凝土初裂抗拉强度的计算公式为

$$f_{cr} = f_t (1 - g) + \eta_l \tau g l_f / d_f. \tag{4}$$

式(4) 的正确性已得到大量试验结果的验证.

由于钢纤维混凝土中钢纤维体积率  $g = 1\% \sim 2\%$ ,  $1 - g$  近似等于 1, 因而有

$$f_{cr} = f_t \left[ 1 + \eta_l \frac{\tau}{f_t} g \frac{l_f}{d_f} \right]. \tag{5}$$

取  $q_{cr} = \eta_l \tau / f_t$ ,  $\lambda = g l_f / d_f$ , 则式(5) 转化为

$$f_{cr} = f_t (1 + q_{cr} \lambda). \tag{6}$$

式中:  $\lambda$  为钢纤维含量特征参数;  $q_{cr}$  为钢纤维对混凝土轴拉初裂强度的影响系数, 其值与钢纤维类型、形状、分布以及受力模型有关, 宜由试验数据统计分析确定.

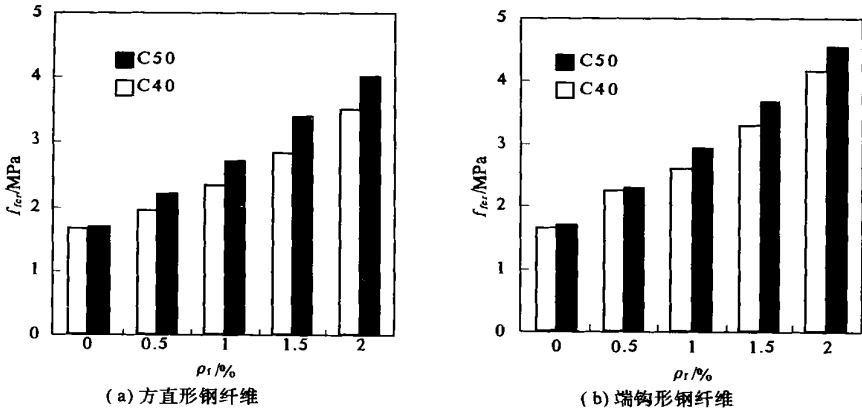


图 1 钢纤维体积率对轴拉初裂强度的影响

Fig. 1 The effect of steel fiber volume ratio on axial tension initial cracking strength

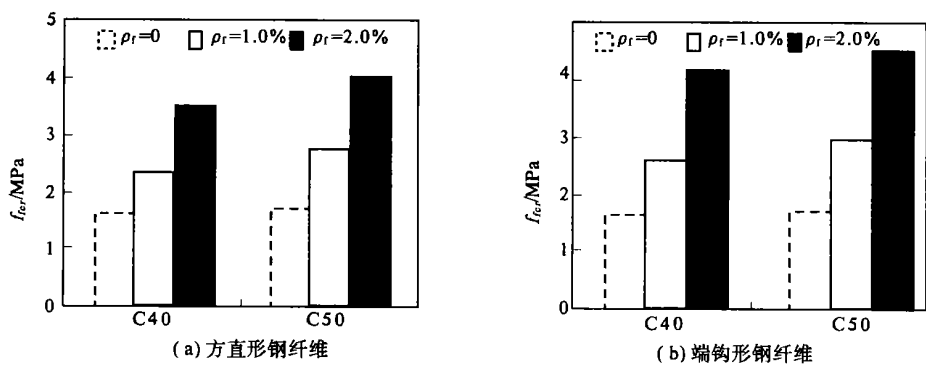


图 2 混凝土强度等级对轴拉初裂强度的影响

Fig. 2 The effect of concrete strength grade on axial tension initial cracking strength

3 钢纤维混凝土轴拉初裂强度计算公式

在钢纤维混凝土轴拉初裂强度的计算式(6)中,关键是确定  $q_{cr}$ . 根据对表 1 结果的统计分析,对方形钢板切削纤维混凝土,  $q_{cr} = 1.067$ ; 对端钩形钢板切削纤维混凝土,  $q_{cr} = 1.363$ . 即方直形钢板切削纤维混凝土的轴拉初裂强度的计算式为

端钩形钢板切削纤维混凝土轴拉初裂强度的计算式为

$$f_{fcr} = f_t (1 + 1.067 \lambda_f); \tag{7}$$

$$f_{fcr} = f_t (1 + 1.363 \lambda_f). \tag{8}$$

用式 7、式 8 分别计算表 1 试件的轴拉初裂强度值,计算结果见表 1. 方直形钢板切削纤维混凝土轴拉初裂强度的计算值与试验值之比的均值、均方差、变异系数分别为 1.024, 0.368, 0.369; 端钩形钢板切削纤维混凝土轴拉初裂强度的计算值与试验值之比的均值、均方差、变异系数分别为 1.067, 0.384,

0.360, 计算值与试验值符合较好.

4 结论

- (1) 钢纤维体积率和混凝土强度等级是影响混凝土轴拉初裂强度的主要因素. 混凝土轴拉初裂强度分别随钢纤维体积率的增加和混凝土强度等级的提高而增大.
- (2) 方直形钢板切削纤维混凝土和端钩形钢板切削纤维混凝土的轴拉初裂强度可分别由式(7)和式(8)计算.

参考文献:

[1] 高丹盈, 黄承逵. 钢纤维混凝土正截面强度的研究[J]. 水利水电技术, 1999, (2): 57—61.  
[2] 赵国藩, 彭少民, 黄承逵. 钢纤维混凝土结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.  
[3] 高丹盈, 刘建秀. 钢纤维混凝土基本理论[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.

Calculating Method for Axial Tension Initial Cracking Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete

GAO Dan ying , XU Lei , LI Chen chen

(College of Enironmental & Hydraulic Engineering ,Zhengzhou University , Zhengzhou 450002, China)

**Abstract :** The axial tension initial cracking strength of steel fiber reinforced concrete is an important index for determining the cracking behavior of this kind of material , and is also the index for indirectly determining the other mechanical behavior such as initial shearing strength . Through the analysis on the axial tension test results of steel fiber reinforced concrete , this paper explores the effect of configuration volume ratio and concrete strength grade upon the axial tension initial cracking strength . It shows the axial tension initial cracking strength of concrete increases with the increase of steel fiber volume raito and enhancement of concrete strength grade separately . Finally the paper establishes the model for calculating the axial tension initial cracking strength of steel fiber reinforced concrete . The calculating formulas of the axial tension initial cracking strength of steel fiber reinforced concrete are put forward , which may be referred to in the revision of the design and construction regulation of steel fiber reinforced concrete in China .

**Key words :** steel fiber reinforced concrete ; axial tension initial cracking strength ; calculating method